А. И. Терехов

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБЛАСТЕЙ НАНОНАУКИ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ

Введение

Для современной науки характерен быстрый рост, как правило, на стыке традиционных научных дисциплин. Большая неопределенность, значительный масштаб ожидаемых выгод и ряд других факторов заставляют государство активно участвовать в развитии таких междисциплинарных областей, к числу которых относится нанотехнология. При формировании научной политики важно понять, каковы уже сложившиеся взаимосвязи и эволюция исследовательских усилий, как прогнозируется их дальнейшее развитие и каким образом управляющие воздействия могут повлиять на это развитие и практическую отдачу. В силу упомянутой специфики для этих целей часто недостаточны качественные методы, использующие мнения экспертов; гораздо эффективнее их сочетание с количественными (формализованными) методами, которые, несмотря на упрощающие моменты, способны обеспечивать объективность и большую сопоставимость результатов.

Количественные методы в исследовании науки опираются, как правило, на библиометрию и патентную статистику. Однако исследовательские проекты, финансируемые научными фондами, также представляют важный источник данных для количественного анализа, причем не только с точки зрения оценки научных групп и организаций, анализа географической структуры науки, схем кооперации и т.д., но и с точки зрения содержания как источника информации для отслеживания появления и динамики новых научных тематик, технологического форсайта и т.д.

В статье построен частотный терминологический словарь нанообласти исследований (термины отбирались в названиях проектов, поддержанных Российским фондом фундаментальных исследований /РФФИ/ в 1993–2006 гг.), выполнен его анализ и сопоставление с аналогичным словарем проектов Национального научного фонда США (ННФ США). Показана сравнительная динамика грантовой поддержки обоими Фондами исследований в области наноматериалов по направлениям: фуллерены; квантовые точки; дендримеры; наночастицы; нанотрубки. Рассчитаны характеристики инфраструктуры, обеспечивающей развитие нанообласти ИиР в нашей стране: состав и география институциональных участников проектных исследований, возрастная структура научного сообщества и др. Статья использует ряд результатов и продолжает исследование, выполненное под руководством автора в проекте РФФИ № 03-06-80434 «Изучение структурных характеристик и динамики развития фундаментальных исследований в России по направлению «наноструктуры» и по экологической проблематике (на основе массивов заявок и отчетов по грантам РФФИ 1993–2002 гг.)».

1. Частотный терминологический словарь как простейший инструмент формализованного анализа контента проектов

Нанотехнология в России имеет значительную по времени предысторию, некоторые вехи которой отражены в [1; 2]. С созданием и наполнением банка данных (БД) РФФИ анализ тенденций и перспектив развития этой междисциплинарной области в нашей стране становится возможен на систематической основе. По числу ежегодно финансируемых проектов и количеству их участников РФФИ – второй в мире после ННФ США научный фонд. Данные его электронного банка, по крайней мере, за последние 10 лет достаточно представительны и могут быть использованы для аналитических целей и межстранового сравнения.

Ввиду отсутствия для нанотехнологии надежных классификационных систем, стратегия поиска информации в базах данных строится, как правило, на основе ключевых слов. Для отбора «нанопроектов» и построения частотного словаря нанообласти исследований нами использованы следующие ключевые термины:

1) слова с приставкой «нано», за исключением слов «наносекунда», «нанограмм», «нанолитр», «нанопланктон», «нанокельвин», «нанос» и некоторых других, не относящихся к избранной проблематике;

2) фуллерен, фуллерит, фуллерид;

3) квантовая точка, квантовая яма, квантовый проводник;

4) дендример.

Всего за рассматриваемый период в названиях проектов РФФИ встретилось более 180 терминов, составивших терминологический словарь нанообласти, при общем количестве словоупотреблений 2032 (см. Приложение). К наиболее часто употребляемым (по числу раз) терминам относятся:

наноструктура	– 380	нанокристаллический	– 104
фуллерен	– 145	наноразмерный	– 104
Наночастица	– 142	нанокомпозит	– 86
квантовая точка	– 125	наноструктурный	– 57
квантовая яма	– 118	нанотрубка	– 56

До 1997 г. термин «фуллерен» был самым часто употребляемым, а термин «наночастица» вышел на третье место в 2005 г., обогнав по частоте употребления термины «квантовая яма» и «квантовая точка». В последние три года (2004–2006 гг.) по сравнению с предыдущим периодом (1993–2003 гг.) значимо возросла частость употребления терминов: «наносистема», «наноматериал», «нанодисперсный», «наночастица» и, наконец, самого слова «нанотехнология»; напротив, сократилась частость употребления таких терминов, как «фуллерен», «дендример», «квантовая яма», «квантовая точка». За 2004–2006 гг. в словарь проектов РФФИ было введено около 50 новых «нанотерминов». Некоторые из них относятся к обозначению отрасли или раздела науки: «наномедицина», «наномеханика», «наноминералогия», «нанофотоника». Большинство же имеет техническую и технологическую направленность: «наноагрегат», «наноустройство», «наноприбор», «нанодвигатель», «нанозонд», «наноробот», «нанотранзистор», «наноэмиттер», «нанофабрикация», «наноте-

стинг» и др. Сказанное свидетельствует о расширении границ и тематических сдвигах в проводимых исследованиях, а также о начавшемся переходе от нанонауки к нанотехнологии.

Вообще же терминологический мониторинг (в том числе отслеживание появления новых терминов, отражающих интерес к вновь открытому объекту или явлению) в быстро развивающейся междисциплинарной научной области может иметь практическую пользу. Так, весьма популярной в последние годы становится тематика «наножидкостей»: количество публикаций по этой теме возрастает особенно быстро после двух публикаций в журнале «Nature» [3; 4]. Несмотря на то, что работы по данной теме в России проводятся (в частности, по магнитоуправляемым наножидкостям), в БД РФФИ нами найден лишь один проект № 06-03-89403 «Прочность расплава вязкоупругих *наножидкостей* на основе полимер-силикатных нанокомпозитов» по совместному конкурсу РФФИ и Нидерландского общества научных исследователей. Добавим, что теме «nanofluid», посвящено полтора десятка проектов, выполняемых по грантам ННФ США [5]. К числу терминов, встречающихся в последнее время с возрастающей частотой (и не вошедших в словарь РФФИ), относятся: «нанокольцо» (nanoring); «наноструя» или «наносопло» (nanojet); «нанобиокомпозит» (nanobiocomposite) и некоторые другие. Таким образом, даже словарные сопоставления способны давать информацию для дальнейшего экспертного рассмотрения и возможных корректировок научных программ.

Формализованный анализ контента может быть продолжен путем подсчета частоты совместной встречаемости терминов. Например, сочетание «полупроводниковая наноструктура» встретилось в 13% случаев употребления термина «наноструктура», что определенно говорит в пользу более широкого интереса к изучению квантовых точек, ям и проводов. Вообще же, к термину «наноструктура» в контекстном окружении встретилось 83 определяющих слова, к наиболее частым относятся: полупроводниковая, углеродная, металлическая, твердотельная, многослойная, магнитная и др. Дальнейший лингво-статистический анализ с использованием полнотекстовых отчетов по проектам позволит извлекать все более полную и точную информацию о тематической структуре проводимых исследований. Следует, однако, отметить, что формализованный характер рассмотренного подхода требует во всех случаях более строгой проверки и обоснования его результатов.

2. Динамика развития проектных исследований в нанообласти: сравнительная статистика на основе баз данных РФФИ и ННФ США

На основании ключевых терминов (релевантных нанотерминов и ряда других терминов без приставки «нано» в русском и английском вариантах), содержащихся в названиях, выделено 1857 проектов, профинансированных РФФИ в 1993–2006 гг., и 3439 проектов, профинансированных ННФ США в 1990–2006 гг.[1] Данные показывают, что

[1] Использована база данных проектов ННФ США [5].

РФФИ обеспечивает поддержку в принципе сопоставимого с ННФ США количества проектов, а следовательно, выполняемых тематик и исследовательских групп в нанообласти. Однако финансовый вес поддержки отечественного фонда в десятки раз уступает той, которую реализует американский фонд – немаловажное обстоятельство, поскольку сама исследовательская деятельность в данной области высокотехнологична и требует значительных затрат на оборудование. Как следует из рис. 1, разрыв между ННФ и РФФИ по количеству присуждаемых грантов особенно возрос начиная с 2000 г. – момента старта в США Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ).

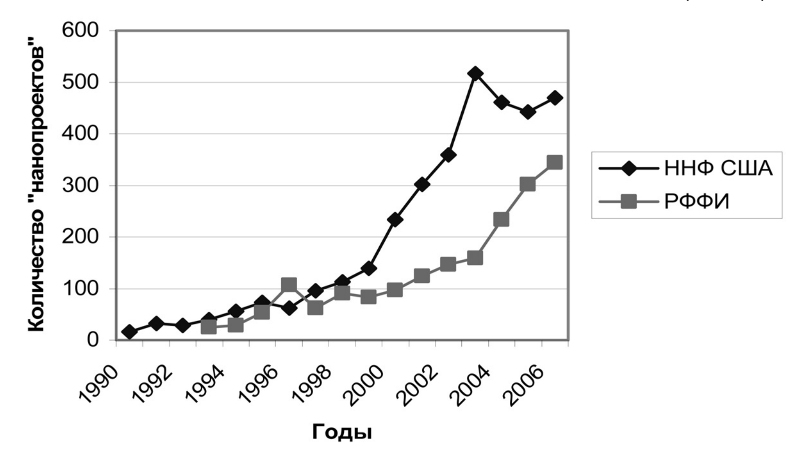


Рис. 1. *Количество стартовавших исследовательских «нанопроектов» по годам*

Важнейшей составной частью нанотехнологии являются наноматериалы, а среди них те, которые относят к фундаментальным «строительным блокам»: фуллерены, нанотрубки, наночастицы, квантовые точки, дендримеры. К ним проявляется повышенный исследовательский интерес в мире, а по количеству ежегодно выдаваемых американских «нанопатентов» все они, за исключением дендримеров, входят в лидирующую пятерку. Библиометрические показатели российских ученых в перечисленных направлениях согласно Science Citation Index значительно превышают средние для таких отраслей науки, как физика и химия [6]. Соотношение количества грантов, выданных РФФИ и ННФ США, на исследования по каждому из перечисленных типов наноматериалов составляет: для фуллеренов – 1.88; для квантовых точек – 1.02; для дендримеров – 0.57; для наночастиц – 0.40; для нанотрубок – 0.35. их сравнительная динамика по годам представлена на рис. 2–6. Интересно, что РФФИ начал финансировать исследования дендримеров даже раньше, чем ННФ, однако, именно здесь средняя величина американского гранта (более 331 тыс. долларов) самая высокая среди всех пяти типов исследуемых объектов [5]. Можно отметить, что количество стартующих проектов по наночастицам, нанотрубкам, квантовым точкам в США заметно возросло после принятия ННИ, чего нельзя сказать о фуллеренах.

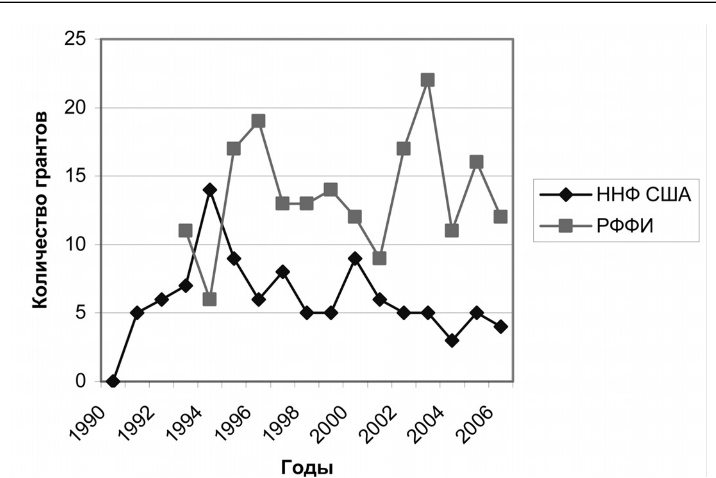


Рис. 2. *Количество выданных грантов на исследования важнейших типов наноматериалов: фуллерены*

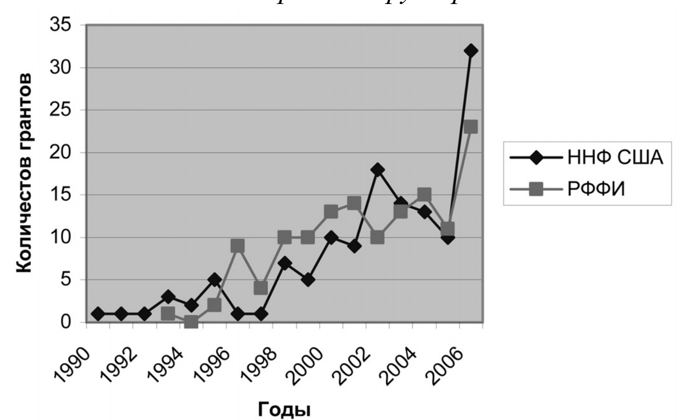


Рис. 3. *Количество выданных грантов на исследования важнейших типов наноматериалов: квантовые точки*

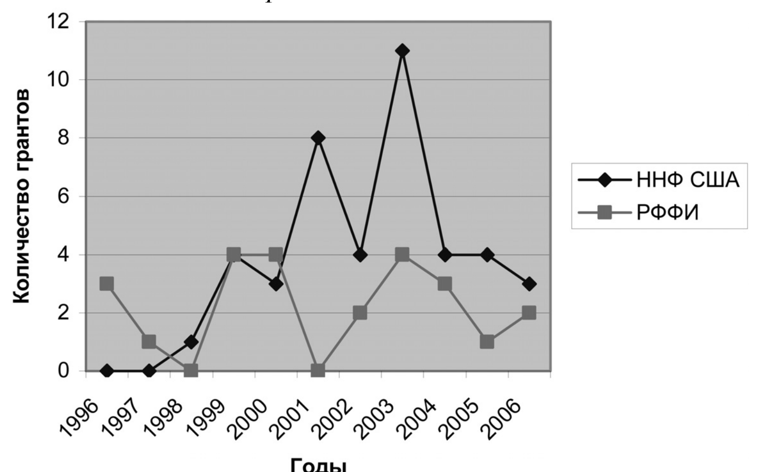


Рис. 4. *Количество выданных грантов на исследования важнейших типов наноматериалов: дендримеры*

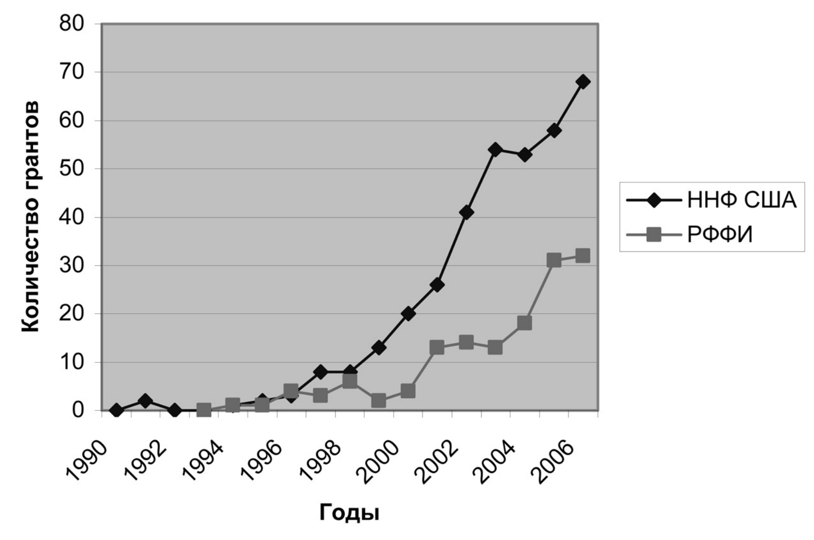


Рис. 5. *Количество выданных грантов на исследования важнейших типов наноматериалов: наночастицы*

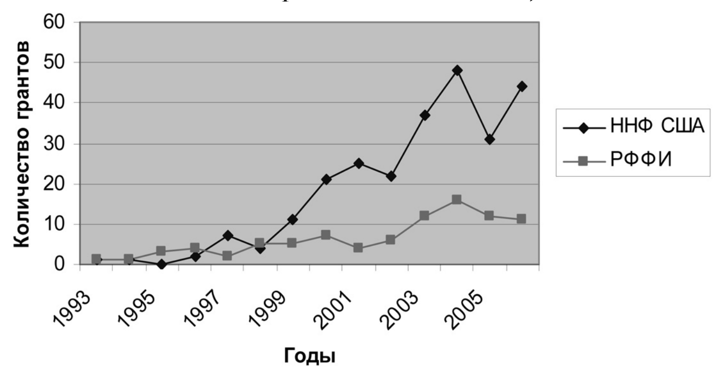


Рис. 6. *Количество выданных грантов на исследования важнейших типов наноматериалов: нанотрубки*

Считается, что роль углеродных наноматериалов для нанотехнологии столь же важна, как кремния – для электроники. Открытие фуллеренов в физическом эксперименте (1985 г.) и последовавший за этим «фуллереновый бум» привели к открытию в 1991 г. углеродных нанотрубок (УНТ), которые, как оказалось, обладают даже большим набором практических применений, чем сами фуллерены. Именно поэтому количество выходящих в мире публикаций по УНТ растет экспоненциально. Они являются лидерами роста по количеству патентуемых изобретений и объемам продаж на мировом нанотехнологическом рынке [6]. УНТ претендуют на главную роль в эволюционной нанотехнологии, ставящей целью создание эффективных наноустройств: наносенсоры, дисплеи на нанотрубках, термоэлектрические преобразователи и т.д. Однако, как показывают рис. 2 и 6, а также библиометрические сопоставления [6], российский исследовательский комплекс оперативно не среагировал на явно обозначившийся перенос акцентов лидерами с

изучения фуллеренов на углеродные нанотрубки. Очевидно, требуется экспертное рассмотрение этого факта при формировании российской нанотехнологической программы.

3. Институциональный состав участников проектов РФФИ в нанообласти; возрастная структура исследователей

Обеспечение кадрами и, в первую очередь, динамичное воспроизводство их научно-исследовательского ядра чрезвычайно важно для развития и полной реализации экономического потенциала нанотехнологии. По некоторым оценкам, в ближайшее десятилетие России может потребоваться не менее 30 тысяч специалистов в области нанотехнологии: исследователей, материаловедов, технологов [1][2]. Отметим, что в выполнении отобранных нанопроектов РФФИ за весь период принимали участие свыше 6800 исследователей. Участниками проектов, стартовавших в 2005 и 2006 гг., являлись 4160 человек, большинство из которых продолжают работу и сейчас. Они образуют 646 тематических научных групп и выполняют проектные исследования в 187 организациях[3]. По количеству выполняемых исследовательских проектов лидируют:

Московский государственный университет (вместе с НИИ) – 62;
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (СПб) – 45;
Институт физики полупроводников СО РАН (Новосибирск) – 21;
Санкт-Петербургский государственный университет (вместе с НИИ) – 21;
Институт проблем химической физики РАН (п. Черноголовка) – 16;
Институт физики твердого тела РАН (п. Черноголовка) – 16;
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (Новосибирск) – 15;
Институт физики микроструктур РАН (Нижний Новгород) – 14;
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (Москва) – 13;
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Москва) – 13 проектов.

Вообще же 58.8% от общего числа «нанопроектов», стартовавших в 2005–2006 гг., приходилось на долю институтов РАН; 35.4% – на долю вузов (включая МГУ); 9.4% – на долю Государственных научных центров и отраслевых НИИ; 2.9% – на долю прочих (включая коммерческие) организаций. Такова в целом институциональная структура фундаментальной нанонауки в гражданском исследовательском секторе России. Заметен рост доли вузов в проектных исследованиях по сравнению с предыдущим периодом [6]. В контрактных исследованиях по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалов», более ориентированных на приложения, доля организаций Федерального агентства по образованию вместе с МГУ даже выше, чем у РАН

---

[2] США, по их оценке, располагали в 2003 г. 40 тыс. ученых, способных работать в нанотехнологии [7].

[3] Имеются в виду организации, через которые осуществляется финансирование проектов; для исполнения проекта РФФИ допускается более одной организации финансирования.

[8]. Ведущую позицию РАН в фундаментальных исследованиях подкрепляют библиометрические показатели. Так, среди научных организаций разных стран, подготовивших в 2003 г. наибольшее количество «нанопубликаций», Российская академия наук на третьем месте после Академии наук Китая и Национального центра научных исследований Франции [9]. Из 8 наиболее цитируемых отечественных ученых, работающих в области наноматериалов [10], пятеро представляют РАН, трое – вузы (кстати, все 8 ученых являются или были участниками проектов РФФИ).

Возрастная структура сообщества исследователей – весьма информативный показатель для оценки перспектив развития научной области. Средний возраст 4160 ученых, работающих в нанообласти по грантам РФФИ, равнялся в 2006 г. 44.3 лет, их возрастное распределение представлено на рис. 7. Среди особенностей возрастной кривой можно отметить: абсолютный «пик» в районе 26 лет; достаточно длинный послепенсионный «хвост» (который за 8 последующих лет может, к тому же, «потяжелеть» с 21 до 40% численности данного контингента); низкую долю наиболее продуктивных, согласно [11], возрастных групп (38–42 года – 5.6%; 50–54 года – 10.5%). Конечно же, привлекает внимание «молодежный пик». В его основе, вполне вероятно, лежит демографический фактор: высокая рождаемость в России на рубеже 1970–1980 гг. Следует, однако, отметить, что формирование рожденных в те годы происходило в период, когда научная «героика» в нашей стране уже отсутствовала, поэтому мотивации их прихода в науку требуют изучения. Имеющийся опыт показывает: из более 1800 участников «фуллеренового бума», включая научную молодежь, число активных и мотивированных исследователей составило в 2003 г. около 1/5 [6]. Длительные наблюдения за возрастной структурой грантополучателей РФФИ подтверждают, что «молодежный пик» куда-то растворяется, слабо подпитывая следующую возрастную группу зрелых исследователей [12]. Если учесть, что в дальнейшем (к 2015 г.) благоприятный демографический фактор сменит знак, а международная конкуренция за привлечение талантливых молодых ученых неизбежно обострится, будет непросто обеспечить развитие нанотехнологии в нашей стране высококвалифицированными исследователями.

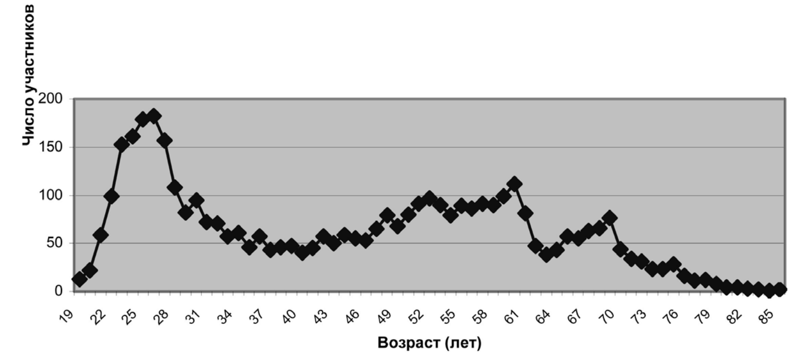


Рис. 7. Возрастное распределение участников «нанопроектов» РФФИ, начавшихся в 2005–2006 гг.

Численность активного ядра исследователей и инженеров, работающих в области нанонауки и нанотехнологии (4160 участников проектов РФФИ; около 8 тыс. участников контрактных исследований по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалов» [8]), а также их возрастной состав говорят о необходимости экстренных мер по подготовке, в том числе опережающей, и закреплению кадров в этой стратегически важной области.

Заключение

Научные фонды, как известно, реализуют идею равного доступа, конкуренции и участия самого научного сообщества в выборе исследовательских приоритетов. Финансируемые ими проекты являются неотъемлемой составляющей производства и распространения научного знания, поэтому могут служить ценным источником информации для наукометрического анализа, формирования и реализации крупных целевых программ.

В статье рассмотрена формализованная методология, позволяющая использовать содержание проектов для анализа тематической структуры проводимых исследований, форсайта будущего развития нанообласти и получения на этой основе информации для формирования и корректировки исследовательского портфеля отечественной нанотехнологической программы. Сравнение с США (по количеству и направлениям проектных исследований, финансируемых ведущими научными фондами; объему и структуре терминологических словарей, извлеченных из названий проектов) обнаружило ряд имеющихся недостатков, в частности, в мониторинге изменений мировых научных приоритетов. Наиболее отчетливым проявлением стало отсутствие своевременного маневра в изучении углеродных наноструктур, запаздывание с реакцией на появление новых точек роста исследовательского интереса и др. Одна из причин этого, на наш взгляд, – в недостаточном внимании к информационному сопровождению исследований.

Для географии выполняемых «нанопроектов» характерна высокая степень концентрации в Москве и Московской области и в Санкт-Петербурге. Рассчитанные данные показывают: географически более равномерно исследования распределены в рамках РАН, что важно в силу стратегических задач развития нанообласти. Создание гибкой инфраструктуры, включая такой важнейший ее компонент, как квалифицированная рабочая сила, одна из основных целей Национальной нанотехнологической инициативы США. Реализуя ее, ННФ в 2002 г. объявил образовательную программу по нанотехнологии для студентов, а в 2003 г. – для учащихся средней школы. В результате в 2005 г. при поддержке фонда прошли обучение около 10 тыс. студентов и преподавателей. К сожалению, РФФИ не имеет аналогичных образовательных программ, хотя кадровый вопрос стоит у нас гораздо острее. Возможно, преобладание среди участников контрактов Минобрнауки представителей вузов является проявлением целевой политики, направленной на омоложение исследовательского сообщества.

Важной частью мер по развитию нанотехнологии в нашей стране должны стать информационно-аналитическая поддержка и сопровождение исследований. Обсуждение первоочередных шагов в этом направлении уже начато [13]. Можно добавить следующее. В последнее время много говорится об инновационном пути развития экономики. Инновационный потенциал нанотехнологии столь высок, что она претендует на роль одного из базовых направлений формирования шестого технологического уклада. Ее важнейшая черта – междисциплинарность, что требует издания междисциплинарного научного журнала, способного публиковать результаты исследований и отражать мнения ученых разных специальностей, включая экономистов, правоведов, экологов, социологов и др. Значительный вклад в изучение глобальных процессов развития нанотехнологии, оценку позиций стран в нанотехнологической гонке вносят наукометрические исследования, широко развернутые на Западе и начавшиеся в последнее время у нас. В России нет аналогов таких журналов, как «Scientometrics», «Research Policy», а поскольку нанотехнология в значительной степени еще и нанонаука, количественный подход для ее изучения выпадает из сферы внимания и издающихся журналов по эконометрике. Очевидно, необходим выход, устраняющий этот пробел.

Автор благодарен сотрудникам РФФИ В.А. Минину и А.Н. Либкинду за помощь в подготовке части статистических данных.

Приложение

Частотный терминологический словарь «нанопроектов» РФФИ

№	Термин / Кластер терминов	Частота встречаемости
1	Наноструктура (-ирование; -ный; -ированный)	492
2	Бакминстерфуллерен; гетерофуллерен; гетерофуллерид; металлофуллерен; пирролидинофуллерен; полифуллерен; фуллерен; фуллерид; фуллерит; фуллероид; эндометаллофуллерен; фуллереновый; фуллереноподобный; фуллеренсодержащий	208
3	Нанокристалл (-ит; -изация; -итный; -ический)	147
4	Наночастица	142
5	Квантовая точка	125
6	Квантовая яма	118
7	Нанокомпозит (-итный); нанокомпозиция (-оный)	111
8	Наноразмер (-ный)	105
9	Нанотрубка; нанотрубы (-ный); нанотубулен (лярный)	88
10	Нанокластер (-ный)	44
11	Нанометровый (-ический); субнанометровый; наномерный	41
12	Наноматериал	33
13	Нанодисперсия (-ность; -ный; -гированный)	28
14	Гликодендример; дендример (-ный); металлодендример; содендример	26
15	Наноэлектроника (-ный)	24

16	Нанопора (-истость; -истый)	19
17	Наногетероструктура; гетеронаноструктура	18
18	Нанотехнология (-ический)	18
19	Нанообъект	17
20	Нанопорошок (-ковый)	10
21	Наносистема	10
22	Наноалмаз	9
23	Квантовый провод; квантовая проволока; квантовая нить	8
24	Наноконтакт (-ный)	8
25	Наноостров (-ок)	8
26	Нановолокно (-нистый)	7
27	Нанодомен (-ный)	7
28	Нанолитограф (-ия)	7
29	Нанопровод (-ник); нанопроволока	7
30	Наномасштаб (-ный)	6
31	Нанонеоднородность (-ный)	6
32	Нанореактор	5
33	Наногетерогенный	5
34	Нанофазный	5
35	Наномагнит (-нетик; -нетизм)	4
36	Нанослой (-евый)	4
37	Наноуровень	4
38	Нановключение	3
39	Наноиндентирование	3
40	Нанокапсула (-лят; -ированный)	3
41	Наномеханика	3
42	Нанопленка	3
43	Нанопокрытие	3
44	Наноскопия (-пический)	3
45	Наноустройство	3
46	Нанофильтрация (-ционный)	3
47	Нанофотоника	3
48	Наномолекулярный	3

Слова с приставкой «нано», встретившиеся *два раза*:

- ~ графит, ~ наполнитель, ~ полость, ~ полупроводник, ~ рельеф, ~ тело, ~ шкала, ~ элемент, ~ локальный;

и один раз:

- ~ абляция, ~ агрегат, ~ аэрозоль, ~ бактерия, ~ биоконструкт, ~ биотехнология, ~ гель, ~ двигатель, ~ дефект, ~ деформация, ~ жидкость, ~ зонд, ~ инициатор, ~ ионика, ~ канал, ~ керамика, ~ коллоид, ~ комплекс, ~ конструкция, ~ ламинат, ~ матрица, ~ медицина, ~ минералогия, ~ модификатор, ~ модификация, ~ нить, ~ область, ~ оксид, ~ оптика, ~ переход, ~ пластина, ~ поле, ~ прибор, ~ пудра, ~пыль, ~ резонатор, ~ робот, ~ свойство, ~ состояние, ~ стекло, ~ тестинг, ~ транзистор, ~ фабрикация, ~ электромеханика, ~ эмиттер; ~ биокомпозиционный, ~ гофрированный, ~ гранулированный, ~ ионный, ~ керамический, ~ образующий, ~ оксидный, ~ организованный, ~ спутниковый, ~ углеродный, ~ фибриллярный, ~ электромеханический.

Литература

1. Третьяков Ю.Д. Проблема развития нанотехнологий в России и за рубежом // Вестник РАН. 2007. Т. 77. № 1. С. 3–10.
2. Андриевский Р.А. С каким заделом Россия подошла к началу нанотехнологического бума и как цитируются отечественные работы в этой области // Наноиндустрия. 2007 (в печати).
3. Chaudhury M.K. Complex fluids: Spread the word about nanofluids // Nature. 423. P. 131–132 (2003. 8 May).
4. Wasan D.T., Nikolov A.D. Spreading of nanofluids on solids // Nature. 423. P. 156–159 (2003. 08 May).
5. Терехов А.И., Терехов А.А. Развитие научно-исследовательских работ по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалы»: анализ и оценка позиций России в области наноматериалов // Вестник РФФИ. 2006. № 4 (48). С. 23–37.
6. www.nanotech-now.com/Lux-Capital-release-06232003.htm.
7. Алфимов М.В, Разумов В.Ф. Доклад рабочей группы «Индустрия наносистем и материалов» // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 1–2. С. 12–25.
8. Kostoff R.N., Stump J.A., Johnston D. et al. The structure and infrastructure of the global nanotechnology literature // Journal of Nanoparticle Research. 2006. V. 8. № 3–4. P. 301–321.
9. Андриевский Р.А. Информационное обеспечение исследований и разработок в области нанотехнологии и наноматериалов (на сайте www.fcntp.ru/doc/press-center/presentation3.ppt).
10. Пельц Д., Эндрюс Ф. Ученые в организациях. Об оптимальных условиях для исследований и разработок. М.: Прогресс. 1973.
11. Алфимов М.В., Минин В.А., Либкинд А.Н., Терехов А.И., Гохберг Л.М. Хроника распада // Поиск. 2003. № 10 (720). С. 8–9.
12. Андриевский Р.А. Бум без шума? // Поиск. 2007. № 2. С. 6.